



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT

EIDG. AMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

PATENTSCHRIFT



Veröffentlicht am 16. Juni 1945

Gesuch eingereicht: 14. Dezember 1942, 18 $\frac{1}{2}$ Uhr. — Patent eingetragen: 15. Januar 1945.
(Prioritäten: Deutsches Reich, 28. November 1941 und 10. Oktober 1942.)

HAUPTPATENT

Fritz Gockerell, München (Deutsches Reich).

**Verfahren zum Betrieb von Kolbentreibgasern für Brennkraftturbinen
und Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens.**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb von Kolbentreibgasern für Brennkraftturbinen und eine Einrichtung zur Ausführung des Betriebsverfahrens nach der Erfindung.

Um bei Brennkraftturbinen die Temperatur der durch Verbrennung von Treibstoffen erzeugten Treibgase herabzusetzen, hat man bereits vorgeschlagen, die Treibgase vor ihrer Einleitung in die Düsen der Brennkraftturbine mit Luft zu mischen. Hierbei ist vorgesehen, die Brenngase bei ihrer Zuführung zur Turbine durch Ejektoren zu leiten, in denen eine Ansaugung von kühlend wirkender Frischluft erfolgt. Bei dieser Luftansaugung und Bildung eines Gemisches von Brenngas und Luft findet jedoch eine beträchtliche Entspannung der Brenngase statt, so daß für den Antrieb der Turbine nur ein verhältnismäßig niedriges Druckgefälle zur Verfügung steht, die Turbine also bei großem Treibstoffbedarf nur mit verhältnis-

mäßig kleiner Leistung betrieben werden kann.

Es ist auch bekannt, eine Brennkraftkolbenmaschine mit einer Brennkraftturbine und einem Luftverdichter zu vereinigen, wobei der Verdichter die zum Aufladen der Zylinder der Brennkraftkolbenmaschine erforderliche Druckluft liefert. Hierbei ist der Luftverdichter unmittelbar von der Brennkraftturbine angetrieben; beide greifen gleichachsig an einer von der Kurbelwelle der Brennkraftkolbenmaschine unabhängig gelagerten Treibwelle an.

Schließlich sind Brennkraftturbinen bekannt, bei denen die die Treibgase liefernde Brennkraftkolbenmaschine gleichachsig zu der Turbine angeordnet ist, die beiderseitigen Wellen jedoch derart in Antriebsverbindung stehen, daß die Turbine nicht unabhängig von der Brennkraftmaschine geregelt und in ihrer Drehzahl beeinflußt werden kann.

Solche Anlagen sind für den Antrieb von Fahrzeugen wenig geeignet.

Das Verfahren nach der Erfindung ist darauf gerichtet, ein Gemisch aus Brenngasen und Luft herzustellen, das bei niedriger Temperatur eine hohe Energie besitzt und daher für den Antrieb von Brennkraftturbinen besonders geeignet ist. Dieses Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, daß im Kolbentreibgaserzeuger bei jedem Verdichtungshub eine größere Luftmenge verdichtet wird, als für die Treibmittelverbrennung erforderlich ist, und von dieser verdichteten Luftmenge nur ein der Menge des zu verbrennenden Treibmittels angepaßtes Teilvervolumen zur Durchführung der Verbrennung in einer vom Gesamtraum für die verdichtete Luft abgeteilten Brennkammer, der Rest zum Mischen mit den heißen Brenngasen benutzt wird. Bei diesem Verfahren kann sich das Mischen von Brenngasen und Luft unter verhältnismäßig hohem Druck vollziehen, wobei die Luft, da das Mischen unmittelbar im Bereiche der Brennkammer erfolgt, zugleich auch zu einer wirksamen Kühlung der Brennkammer beiträgt. Es kann somit die zusätzliche Kühlung der Brennkammer durch Kühlwasser oder dergleichen weitgehend eingeschränkt werden, gegebenenfalls vollständig in Fortfall kommen. Das Verfahren nach der Erfindung hat somit den besonderen Vorteil, daß die im Kühlwasser von Brennkraftmaschinen sonst nutzlos abgeführte Wärme, die einen reinen Energieverlust darstellt, dem Arbeitsprozeß erhalten bleibt und sich in einer erhöhten Spannung des Brenngas-Luftgemisches auswirkt.

Vorzugsweise wird das Verfahren nach der Erfindung so ausgeführt, daß die Brenngase bei ihrer Expansion in ein verdichtetes Luftpolster einströmen und das hierbei entstehende Brenngas-Luftgemisch zunächst unter Volumenvergrößerung weiter entspannt wird, ehe es als Treibgas in die Brennkraftturbine überströmt. Hierbei vollzieht sich die Expansion in drei Stufen, nämlich zunächst eine Expansion der reinen Brenn-

gase, dann eine Expansion des Brenngas-Luftgemisches auf den Zuführungsdruck der Turbine und schließlich die weitere Expansion in der Turbine selbst. Die Einschaltung einer Entspannungsstufe für das Brenngas-Luftgemisch unter Vergrößerung des Volumens hat eine weitere Temperatursenkung zur Folge und ermöglicht es, nicht benötigten Überdruck arbeitsleistend für den Betrieb des Luftverdichters heranzuziehen.

Die Erfindung ist von besonderer Bedeutung für den Fahrzeugantrieb mit Hilfe von durch Kolbentreibgaserzeuger gespeisten Brennkraftturbinen. Hierfür wird zweckmäßig eine Anlage benutzt, bei der eine Brennkraftturbine und eine gleichachsig dazu liegende Brennkraftkolbenmaschine mit sternförmiger Zylinderanordnung derart vereinigt sind, daß die Speisung der Turbine unmittelbar aus den Zylindern der Kolbenmaschine erfolgt und die Turbine unabhängig von der Kolbenmaschine drehbar ist. Eine derartige Ausführung ermöglicht es, bei äußerst gedrängter Anordnung die Turbine unter Fortfall von Schaltgetrieben zum unmittelbaren Antrieb der Fahrzeugachse zu benutzen und für jeden Drehzahlbereich der Turbine bzw. für wechselnde Fahrzeuggeschwindigkeiten jeden gewünschten Leistungsbedarf durch Einwirkung auf die Drehzahl der Kolbenmaschine bereitzustellen.

Vorzugsweise wird bei gleichzeitiger Anwendung und gleichachsiger Anordnung einer Brennkraftturbine, einer sie speisenden Brennkraft-Kolbenmaschine und eines die letztere speisenden Luftverdichters die Kolbenmaschine zum Antrieb des Verdichters benutzt. Der Zusammenbau kann dabei so ausgeführt sein, daß die Kolbenmaschine mit ihrem Arbeitskolben sowohl die Überströmleitungen vom Verdichter zur Kolbenmaschine als auch die Überströmleitungen von der Kolbenmaschine zur Turbine steuert. Die Steuerung des Luftverdichters wird vorzugsweise so eingerichtet, daß beim Öffnen der Überströmleitungen zur Turbine der Arbeitsdruck des Luftverdichters mit dem Öffnungsdruck des Brenngas-Luftgemisches

annähernd übereinstimmt, so daß sich das Aufladen der Brennkraftkolbenmaschine mit Frischluft ohne Minderung des Öffnungsdruckes des Brenngas-Luftgemisches vollziehen kann.

Die Zeichnungen zeigen Ausführungsbeispiele von Kolbentreibgaserzeugern zur Ausführung des Verfahrens nach der Erfindung, wobei nur die wesentlichen Teile in schematischer Teildarstellung im Längsschnitt wiedergegeben sind. Im folgenden wird auch das erfindungsgemäße Verfahren beispielsweise erläutert.

In den Fig. 1 bis 3 ist von der durch den Kolbentreibgaserzeuger gespeisten Turbine nur ein Teil des Laufrades dargestellt, das Turbinengehäuse ist fortgelassen worden.

Bei der Ausführung nach Fig. 1 ist das Laufrad 1 der Turbine gleichachsig zu einer Kurbelwelle 2 angeordnet, an der die Kolben 3, 4 einer Brennkraftkolbenmaschine 5 und eines Luftverdichters 6, welche zusammen den Kolbentreibgaserzeuger bilden, angreifen. Die Turbinenwelle 7 ist in dem Lager 8 von der Kurbelwelle 2 vollständig getrennt gehalten, so daß das Laufrad 1 der Turbine mit einer gegenüber der Drehzahl der Kolbenmaschinen beliebig veränderlichen Geschwindigkeit umlaufen kann. Dies ist bei unmittelbarem Antrieb der Hauptwelle von Fahrzeugen aller Art durch die Turbine besonders vorteilhaft, weil dann ohne besondere Schaltgetriebe für jede Fahrzeuggeschwindigkeit und Fahrzeugbelastung die erforderliche Leistung durch Regelung der Brennkraftmaschine einstellbar ist.

Der Einfachheit halber sind die Kolbenmaschinen als Einzylindermaschinen dargestellt; für die praktische Ausführung wird jedoch mindestens für die Brennkraftkolbenmaschine 5 eine größere Anzahl von Zylindern vorgesehen, die sternförmig auf den Umfang der Turbine verteilt sind. Die Schaukeln 8' des Turbinenlaufrades 1 werden unmittelbar von dem aus den Zylindern 9 einer derartigen Brennkraftkolbenmaschine über die als Düsen ausgebildeten Auslaßschlitze 10 austretenden Treibgas beaufschlagt. Die

Auslaßschlitze werden in bekannter Weise von den Kolben 3 gesteuert. Der im Verdichterzylinder 11 laufende Kolben 4 dient ausschließlich zur Förderung von Luft, die beim Niedergang des Kolbens beispielsweise durch einen Einlaß 12 eingesaugt wird. Über dem Zylinder des Luftverdichters ist ein Kompressionsraum 13 angeordnet, der über ein Rückschlagventil 14 mit dem Verdichterzylinder 11 verbunden ist und durch enge Durchlässe 15 mit dem Zylinder 9 der Brennkraftkolbenmaschine in Verbindung steht. In dem Zylinderkopf der Brennkraftmaschine 5 ist ein Brennstoffeinspritzventil 16, gegebenenfalls auch eine nicht dargestellte Zündkerze angeordnet.

Die Kolben 3 und 4 können mit Versetzung angeordnet sein, so daß der Brennkraftzylinder 9 von dem Verdichter mit Luft aufgeladen wird. Beim Aufwärtsgang der Kolben 3 und 4 wird nun in dem Zylinder 9 und in dem Raum 13 eine gewisse Luftmenge auf gleichen Druck verdichtet. Die mit dem Einspritzventil 16 zuzuführende Brennstoffmenge wird so bemessen, daß sie nur der in dem Zylinder 9 befindlichen Luftmenge entspricht. Mit eintretender Zündung nimmt daher nur die in dem Zylinder 9 verdichtete Luft an der Treibstoffverbrennung teil. Unter Wirkung des entstehenden Überdruckes strömt ein Teil der Brenngase zunächst in den Raum 13, wo er sich mit der kühleren Luftmenge mischt. Tritt beim Rückgang des Arbeitskolbens 3 dann eine Verringerung des Druckes im Zylinder 9 ein, so strömt die in dem Raum 13 eingeschlossene, mit einem Teil der Brenngase bereits gemischte Luft in den Zylinder 9 über, wo sie die Temperatur der Brenngase herabsetzt. Gegen Ende des Arbeitshubes legt der Kolben 3 den Auslaßschlitz 10 frei, so daß die nunmehr auf etwa 600° C Temperatur herabgesetzten Treibgase in die Turbine strömen, um dort Arbeit zu leisten.

Die unmittelbar innerhalb des Zylinders erfolgende Mischung der Brenngase mit überschüssiger Luft ist wärmetechnisch besonders günstig, weil sie eine Herabsetzung der

Brenngastemperatur ohne Wärmeverlust für den Gesamtprozeß ergibt, da die von der überschüssigen Luft aus den Brenngasen aufgenommene Wärme in einen Gewinn an Energie umgesetzt wird.

Bei den Ausführungen nach Fig. 2 und 3 sind die Zylinder der Brennkraftkolbenmaschine und des Luftverdichters zu einer Einheit vereinigt. In dem Zylinder 17 wird der entsprechend groß bemessene Kolben 18 durch die Pleuelstange 19 auf und ab bewegt. Der Zylinderkopf 20 enthält einen verhältnismäßig großen Luftraum 21, in dessen Mitte eine besonders geformte, mit engen Durchlässen 22 versehene Brennkammer 23 angeordnet ist. Der Brennstoff wird durch eine Einspritzdüse 24 in diese Brennkammer eingespritzt und elektrisch entzündet. Die Brennkammer ist ringsum von der im Raum 21 komprimierten Luft umgeben. Die Trennung des Luftraumes 21 von der Brennkammer 23 ist notwendig, weil nur eine dem Luftvolumen der Brennkammer angepaßte Brennstoffmenge eingespritzt wird und bei Fortfall der Brennkammerwand die in beiden Räumen verdichtete Luftmenge zu groß wäre, um mit dem in kleiner Menge eingespritzten Brennstoff ein zündfähiges Gemisch zu ergeben.

Nach Zündung des in die Brennkammer eingeleiteten Brennstoffes expandieren die heißen Verbrennungsgase zunächst in das die Brennkammer umschließende Luftpolster, so daß unter entsprechender Herabsetzung der Temperatur ein Brenngas-Luftgemisch entsteht. Dieses Gemisch unterliegt beim Niedergange des Kolbens 18 einer weiteren Expansion, in deren Verlauf sich die Temperaturverringerung fortsetzt. Infolge ihrer trapezförmigen Gestalt steht die Brennkammer nur an einer kleinen Querschnittsfläche mit dem Zylinderkopf 20 in Verbindung, so daß die Wärmeaufnahme des Zylinderkopfes nur verhältnismäßig gering ist.

Der Kolbentreibgaserzeuger nach Fig. 2 arbeitet im Viertakt und ist mit einem Einlaßventil 25 und einem Auslaßventil 26 versehen. Das Auslaßventil 26 ist unmittelbar

in den zur Düse 28 des Laufrades 27 der Turbine führenden Kanal eingesetzt. Durch entsprechende Dosierung des Öffnungsquerschnittes des Auslaßventils läßt sich erreichen, daß das Treibgas während des ganzen Ausschubhubes unter annähernd gleichem Druck in die Turbine überströmt.

Der Kolbentreibgaserzeuger nach Fig. 3 arbeitet im Zweitakt. Soweit er in seiner Ausbildung mit der Ausführung nach Fig. 2 übereinstimmt, sind für gleiche Teile gleiche Bezugszeichen benutzt. Unter Fortfall der Ein- und Auslaßventile ist der Zylinder hier mit einem Einlaßschlitz 29 für die Spül- und Ladeluft versehen, der ebenso wie der zum Turbinenlaufrad führende Düsenauslaß 30 unmittelbar von dem Arbeitskolben gesteuert wird. Der Zylinderkopf ist hier mit einer Isolierung 31 bedeckt.

Fig. 4 zeigt eine abgeänderte Ausführung der Einrichtung nach Fig. 1 unter Benutzung der Brennkammerbauart nach Fig. 2 und 3. Die nicht dargestellten Wellen des Turbinenrades 31 und der Kolbenmaschine sollen hierbei gleichfalls voneinander getrennt gehalten sein.

Der Kolben 32 des Brennkraftzylinders 33 befindet sich in der Abwärtsbewegung, und zwar kurz vor dem Öffnen des Auslaßschlitzes 34, an den sich eine im Querschnitt verstellbare Leitdüse 35 der Turbine anschließt. Der Verdichterkolben 36 des Verdichterzylinders 37 ist in der Aufwärtsbewegung begriffen und hat diejenige Stellung erreicht, in welcher der Verdichtungsdruck der komprimierten Luft etwa dem Öffnungsdruck des expandierten Brenngas-Luftgemisches im Zylinder 33 entspricht. Praktisch liegt der Öffnungsdruck des Zylinders 33 zunächst etwas höher, wird aber kurz nach dem Öffnen des Auslaßschlitzes 34 absinken, so daß sich das zwischen der Brennkraftmaschine und dem Verdichter befindliche Rückschlagventil 38 öffnet. Der Querschnitt der Düse 35 wird dem Fördervolumen des Verdichterkolbens 36 zweckmäßig derart angepaßt, daß das Überschieben der Luft aus dem Verdichterzylinder 37 in den Zylinder

33 der Brennkraftmaschine trotz des geöffneten Auslaßschlitzes 34 unter Aufrechterhaltung eines gleichbleibenden Druckes im Zylinder 33 erfolgt.

5 Der eigentliche Brennraum ist als einsetzbare Kammer 39 innerhalb des Kompressionsraumes 40 untergebracht. Der Zylinderkopf 41 ist hier mit einer Kühlung versehen, die aber nur bei Anlagen größerer Leistung
10 erforderlich ist, bei denen eine vergleichsweise große Treibstoffmenge zugeführt werden muß. Die Ausbildung der Brennkammer als ein von der Wandung des Zylinderkopfes unabhängiger Einsatz hat den Vorteil, daß
15 der Wärmeübergang von der Brennkammer auf die Zylinderkopfwand besonders gering ist. Im Bereiche der Brennkammer sind ein Einspritzventil 42 und eine Zündkerze 43 in den Zylinderkopf eingesetzt. Das Luft-
20 einlaßventil des Verdichters ist mit 44 bezeichnet.

Die in Fig. 4 abgebildete Anlage ist vorzugsweise für Kraftwagen geeignet, bei denen mit einer häufigen Änderung des Dreh-
25 momentes gerechnet werden muß und daher die Anwendung eines Kolbenverdichters zweckmäßig ist. Im Unterschiede hierzu soll die Turbinenanlage nach Fig. 5 hauptsächlich zum Antrieb von Eisenbahnfahrzeugen
30 oder als ortsfeste Anlage zur Übertragung besonders großer Leistungen benutzt werden. Die Anlage weist eine Turbine 45 und als Kolbentreibgaserzeuger eine Brennkraftkolbenmaschine 46 mit sternförmiger Zylinder-
35 anordnung und einen Kreiselverdichter 47 auf. Alle drei Aggregate sind gleichachsigt nebeneinander gelagert, wobei jedoch die Turbinenwelle 48 von der Kurbelwelle 49 der Brennkraftmaschine getrennt gehalten
40 und die letztere durch ein Zahnradvorgelege 50 mit der Welle 51 des Kreiselverdichters verbunden ist. An die Auslaßschlitze 52 der Brennkraftmaschinenzylinder sind Leitdüsen 53 angeschlossen, die vorzugsweise einen mit-
45 tels eines Düsenringes einstellbaren Querschnitt aufweisen. Die vom Kreiselverdichter gelieferte Luft wird den Zylindern der Brennkraftmaschine durch Rohre 54 zuge-

führt, die an die Spülschlitze 55 der Brennkraftmaschinenzylinder angeschlossen sind. 50

Auch hier erfolgt das Aufladen der Arbeitszylinder mit Luft bei geöffnetem Auslaßschlitz, so daß der Turbine ein Treibgas von ständig gleichem Druck zuströmt. In jedem Zylinderkopf der Brennkraftmaschi-
55 nenzylinder ist eine mit engen Durchlässen versehene Brennkammer 56 eingebaut, die von einem Kompressionsraum 57 zur Aufnahme von Überschußluft umgeben ist. Die Überschußluft nimmt an der Treibstoffver-
60 brennung nicht teil und dient nur zum Kühlen der aus der Brennkammer strömenden Brenngase.

Gegenüber den Kolbenverdichtern nach Fig. 1 und 4 besitzt ein Kreiselverdichter 65 nur verhältnismäßig kleine Umlaufmassen, so daß er mit verhältnismäßig geringer Leistung in Antrieb versetzt werden kann. Während der Inbetriebsetzung herrscht zu-
70 nächst ein vergleichsweise kleines Verdichtungsverhältnis. Daher wird bei Betriebsbeginn der eingespritzte Brennstoff, vorzugsweise Benzin, durch Zünd- oder Glühkerze entzündet. Steigt mit zunehmender Drehzahl der Druck der vom Kreiselverdichter
75 gelieferten Luft an, so kann auf Gasöl und Dieselbetrieb übergegangen werden. Dieser Übergang wird zweckmäßig durch einen nicht dargestellten Fliehkraftregler eingeleitet, der die Zuflüsse von Benzin und Gasöl
80 zur Einspritzpumpe regelt. Eine derartige Anlage läßt sich mit einem Anlasser von sehr geringer Leistung in Betrieb setzen.

Gegebenenfalls kann die Brennkammer getrennt von dem mit Luft belieferten Arbeitszylinder auch mit einem Brenngasgemisch gespeist werden.

PATENTANSPRUCH I:

Verfahren zum Betrieb von Kolbentreibgaserzeugern für Brennkraftturbinen, da-
90 durch gekennzeichnet, daß im Kolbentreibgaserzeuger bei jedem Verdichtungshub eine größere Luftmenge verdichtet wird, als für die Treibmittelverbrennung erforderlich ist, und von dieser verdichteten Luftmenge nur 95

ein der Menge des zu verbrennenden Treibmittels angepaßtes Teilvolumen zur Durchführung der Verbrennung in einer vom Gesamttraum für die verdichtete Luft abgeteilten Brennkammer, der Rest zum Mischen mit den heißen Brenngasen benutzt wird.

UNTERANSPRÜCHE:

1. Verfahren nach Patentanspruch I, dadurch gekennzeichnet, daß die Brenngase bei ihrer Expansion in ein verdichtetes Luftpolster einströmen und das hierbei entstehende Brenngas-Luftgemisch zunächst unter Volumenvergrößerung weiter entspannt wird, ehe es als Treibgas in eine Brennkraftturbine überströmt.

2. Verfahren nach Unteranspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die beim Entspannen des Brenngas-Luftgemisches vor seiner Überleitung in die Turbine frei werdende Energie zum Antrieb eines die zu verdichtende Luft liefernden Luftverdichters ausgenutzt wird.

3. Verfahren nach Unteranspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Brenngas-Luftgemisch während seiner Entspannung zusätzlich mit verdichteter Frischluft gemischt wird.

4. Verfahren nach Unteranspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Einströmen von verdichteter Frischluft in das bei seiner Entspannung befindliche Brenngas-Luftgemisch vor der Weiterleitung dieses Gemisches in die Turbine beginnt.

5. Verfahren nach Unteranspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die zum Mischen mit dem Brenngas-Luftgemisch zu liefernde Frischluft mindestens auf denjenigen Druck verdichtet wird, den das Brenngas-Luftgemisch im Moment des Öffnens des zur Turbine führenden Auslasses aufweist.

6. Verfahren nach Unteranspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß, solange der Auslaß offen ist, die Brennkammer mit Frischluft ohne Minderung des Brennkammerauslaßdruckes aufgeladen wird.

45

PATENTANSPRUCH II:

Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Patentanspruch I, dadurch gekennzeichnet, daß der die Luftladung aufnehmende Raum des Kolbentreibgaserzeugers durch eine mit Durchlässen versehene Wand in eine das Luftvolumen für die Treibmittelverbrennung aufnehmende Brennkammer und einen Raum für die Aufnahme von Überschußluft zum Kühlen der Verbrennungsgase unterteilt ist.

UNTERANSPRÜCHE:

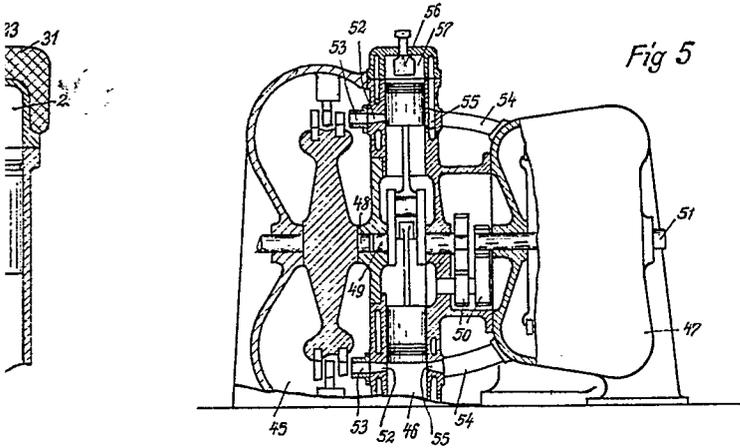
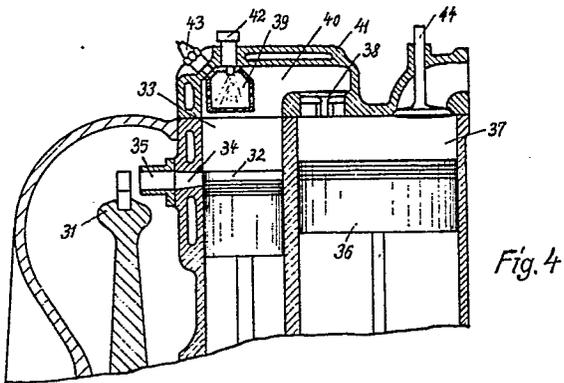
7. Einrichtung nach Patentanspruch II, dadurch gekennzeichnet, daß die das Luftvolumen für die Treibmittelverbrennung aufnehmende Brennkammer innerhalb des zur Aufnahme von Überschußluft bestimmten Raumes angeordnet ist.

8. Einrichtung nach Patentanspruch II, dadurch gekennzeichnet, daß die das Luftvolumen für die Treibmittelverbrennung aufnehmende Brennkammer und der zur Aufnahme von Überschußluft bestimmte Raum nebeneinanderliegen, wobei die Brennkammer dem Zylinder einer Brennkraftkolbenmaschine, der Raum für die Überschußluft dem Zylinder eines Luftverdichters zugeordnet ist.

9. Einrichtung nach Patentanspruch II, dadurch gekennzeichnet, daß der die Überschußluft aufnehmende Raum durch ein Rückschlagventil mit einem die verdichtete Luft liefernden Luftverdichter verbunden ist.

Fritz Gockerell.

Vertreter: Bovard & Cie., Bern.



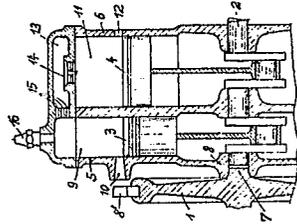


Fig. 1

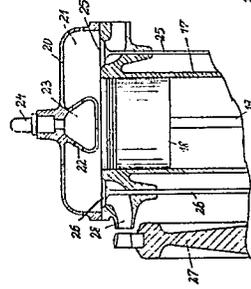


Fig. 2

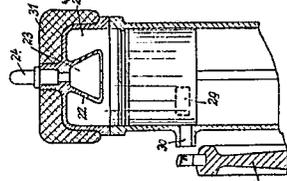


Fig. 3

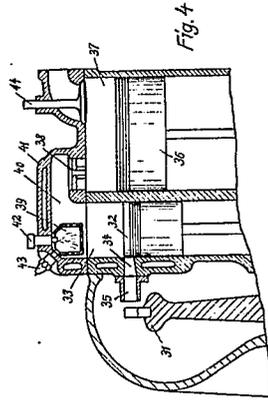


Fig. 4

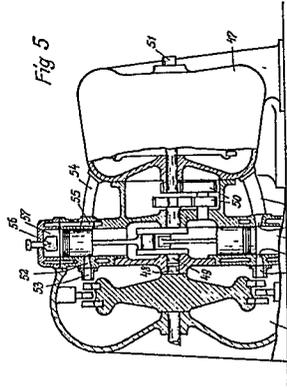


Fig. 5